

城市轨道交通电气节能设计

王劲松

重庆轨道十八号线建设运营有限公司 重庆 400000

摘要：随着城市轨道交通规模的不断扩大，电气节能设计变得至关重要。本文介绍了城市轨道交通电气系统的基本构成和能耗特点，提出了电气节能设计的基本原则和策略，包括设备选型与优化配置、运行控制与调度优化以及再生制动能量回收等方面。同时，探讨了高效电机、LED照明等关键节能技术的应用，旨在推动城市轨道交通电气系统的绿色可持续发展。

关键词：城市轨道交通；电气节能；设计

引言：随着全球能源紧张与环境保护的双重压力，节能设计在城市轨道交通电气系统中的应用显得尤为重要。作为城市交通的骨干，城市轨道交通电气系统的能源消耗占据了相当大的比例。因此，从设备选型、运行控制到再生制动能量回收等各个环节，都需要引入创新节能技术和管理策略。本文旨在探索城市轨道交通电气节能设计的有效途径，为行业的绿色、高效发展提供有益参考。

1 城市轨道交通电气系统概述

1.1 城市轨道交通电气系统的基本构成

城市轨道交通电气系统是城市轨道交通系统中的关键部分，主要负责为列车提供动力、照明和控制信号。该系统主要由供电系统、牵引供电系统、电力监控系统以及其他辅助电气系统构成。（1）供电系统是城市轨道交通电气系统的核心，主要包括外部电源、主变电所、牵引供电网络和动力照明供电网络。外部电源通常来自城市电网，通过主变电所转化为适合轨道交通系统使用的电压等级。牵引供电网络则负责为列车提供牵引电源，而动力照明供电网络则为车站、车辆段和沿线设施提供照明和动力电源。（2）牵引供电系统负责为列车提供牵引动力。它主要由直流牵引供电系统和交流牵引供电系统两种类型组成。直流牵引供电系统通常采用直流1500V或直流750V电压等级，而交流牵引供电系统则采用交流25kV电压等级。牵引供电系统还包括牵引变电所和接触网（或第三轨），其中接触网或第三轨是列车获取牵引电流的直接途径。（3）电力监控系统则负责对整个电气系统进行实时监控和控制，确保系统的安全、稳定和高效运行。它包括电力系统自动化监控设备、数据采集与处理系统、网络通讯系统等。通过电力监控系统，运营人员可以实时了解电气系统的运行状态、故障信息，并进行远程控制和操作。

1.2 主要电气设备与功能

城市轨道交通电气系统包含多种主要电气设备，每种设备都有其独特的功能和作用。（1）变压器：用于调整电压等级，将城市电网的电压转换为轨道交通系统所需的电压。（2）整流器：在直流牵引供电系统中，用于将交流电转换为直流电。（3）接触网/第三轨：为列车提供牵引电流，是列车获取动力的直接途径。（4）断路器与开关：用于控制和保护电路，防止电流过大或短路对设备造成损害。（5）电力监控设备：用于实时监控电气系统的运行状态，提供故障信息和远程控制功能。这些设备共同协作，确保城市轨道交通电气系统的稳定、高效和安全运行。

1.3 电气系统的能耗特点

城市轨道交通电气系统的能耗具有以下几个特点：（1）高峰时段能耗大：由于城市轨道交通在高峰时段运输量大，列车频繁运行，导致电气系统能耗显著增加。（2）能耗与运营策略相关：列车的运行速度、发车间隔等运营策略直接影响电气系统的能耗。优化运营策略可以有效降低能耗。（3）节能潜力大：随着节能技术和设备的不断发展，城市轨道交通电气系统具有较大的节能潜力。通过采用高效设备和优化运行控制，可以显著降低能耗。（4）再生制动能量利用：城市轨道交通列车在制动过程中会产生大量再生制动能量，通过有效的能量回收系统可以将其转化为电能并重新利用，从而降低能耗。

2 城市轨道交通电气节能设计原则与策略

2.1 节能设计的基本原则

在进行城市轨道交通电气节能设计时，应遵循以下几个基本原则：（1）效率优先原则：优先选择效率高的电气设备和系统，减少不必要的能量损耗。例如，在选择变压器时，应优先选择损耗低、效率高的节能型变压器。（2）技术先进性原则：采用先进的节能技术和设

备,如高效电机、LED照明、智能控制等,提高系统的能效水平。(3)经济性原则:在满足安全、可靠运行的前提下,综合考虑节能投资与运行成本,确保节能措施的经济合理性。(4)可持续性原则:在节能设计中,应充分考虑资源的合理利用和环境的可持续发展,避免对环境造成不良影响。(5)标准化和模块化原则:在设计 and 选型过程中,应尽量遵循国家和行业的标准规范,采用标准化的设备和模块,便于设备的维护和更换。

2.2 设备选型与优化配置策略

设备选型是电气节能设计的关键环节。在设备选型时,应注重设备的能效指标,优先选择能效高、节能效果明显的设备。同时,应根据实际需求和运行工况,合理配置设备的容量和数量,避免设备的过载或轻载运行。对于关键设备,如牵引供电设备、照明设备等,应进行详细的比较分析,选择最符合节能要求的设备^[1]。此外,还应关注设备的生命周期成本,综合考虑设备的购置成本、维护成本、运行成本等因素,选择性价比最优的设备。在设备配置方面,应根据车站和线路的特点,合理布局供电设备,减少电缆等供电线路的长度和能耗。同时,应优化设备的运行模式,如采用智能照明控制系统,根据实际需求自动调节照明亮度,实现节能降耗。

2.3 运行控制与调度优化策略

运行控制与调度优化是实现城市轨道交通电气节能的重要手段。通过制定合理的列车运行图和时刻表,优化列车的发车间隔和运行速度,可以降低列车的能耗。同时,通过对电气系统的实时监控和数据分析,可以及时发现和解决能耗异常问题,提高系统的运行效率。在运行控制方面,可以采用先进的自动控制系统,如列车自动控制系统(ATC),实现列车的精准控制和稳定运行。通过优化列车的驾驶模式,如采用节能驾驶模式,可以减少列车的能耗和延长设备的使用寿命。在调度优化方面,可以运用智能化调度系统,根据实时的客流数据和线路状况,动态调整列车的运行计划,实现运能的合理配置和能效的最大化。此外,还可以通过与其他交通方式的协调配合,提高城市轨道交通系统的整体运行效率和服务水平。

2.4 再生制动能量回收与利用策略

城市轨道交通列车在制动过程中会产生大量的再生制动能量,如果能够有效地回收和利用这部分能量,将大大降低电气系统的能耗。因此,在电气节能设计中,应注重再生制动能量的回收与利用策略。(1)应配置高效的再生制动能量回收装置,如再生制动能量吸收装置(RBD),将列车制动时产生的再生制动能量转化为电

能并储存起来。同时,应根据线路的实际情况和列车的运行特点,制定合理的能量回收策略,如采用最大能量回收策略或最优能量回收策略等,以提高能量回收的效率和效果。(2)应优化再生制动能量的利用方式。一方面,可以通过能量管理系统将回收的能量直接供给其他设备使用,如供电给车站的照明系统、通风系统等;另一方面,可以将回收的能量储存起来,供列车在加速或爬坡等需要额外能量的时刻使用。(3)还可以通过技术创新和设备升级来提高再生制动能量的利用率。例如,采用先进的储能技术和装置,提高储能系统的容量和效率;优化能量管理系统的算法和控制逻辑,实现能量的更合理分配和利用。

3 城市轨道交通电气关键节能技术及其应用

3.1 高效电机与变频调速技术

在城市轨道交通中,高效电机和变频调速技术的应用起到了显著的节能作用。高效电机的运用大幅度减少了能源消耗。与传统的电机相比,高效电机不仅运行效率高,且具备更低的空载损耗、更高的功率因数等优点。通过选用这些高性能的电机,可以减少能源的浪费。在城市轨道交通中,大量的电机用于各种机械系统和辅助设施。通过对这些设备的更新换代,我们可以大幅度减少能耗。此外,随着电力电子技术和自动控制技术的发展,变频调速技术得到了广泛的应用。变频调速技术通过改变电机的供电频率,实现对电机转速的精确控制。与传统的定速电机相比,变频调速电机具有更高的能效和更好的控制性能。在城市轨道交通中,列车牵引系统、自动扶梯、空调系统等设备都可以采用变频调速技术,以实现能源的高效利用^[2]。同时,通过实现电机的调速控制,我们可以更好地满足系统的工作需求,减少能源的浪费。例如,在列车牵引系统中,通过实现列车的恒速运行和再生制动,可以显著减少能耗;在空调系统中,通过实现变风量控制,可以更好地满足车厢内的温湿度要求,同时降低能耗。

3.2 LED照明与智能照明控制技术

随着科技的进步和环保意识的提高,LED照明与智能照明控制技术成为了城市轨道交通照明的重要选择。LED照明技术在城市轨道交通中的应用已经十分广泛。与传统的照明技术相比,LED灯具有显著的优势。它们不仅能耗低、发光效率高,而且寿命长、维护成本低。在车站、列车和隧道等场所,LED灯提供了更为清晰、均匀且柔和的照明效果,提升了乘客的出行体验。此外,LED灯还具有良好的调光性能,可以根据不同的场景和需求调整光照强度和色温,满足多样化的照明要

求。而智能照明控制技术则为城市轨道交通的照明系统带来了革命性的改变。传统的照明系统往往缺乏灵活性和智能化,无法根据实时的环境变化进行自动调节。而智能照明控制系统通过集成传感器、通信技术和智能算法,可以实时监测光照强度、人员流动等信息,并据此自动调整照明设备的亮度和颜色。这不仅提高了照明系统的能效和舒适性,还有助于减少不必要的能源浪费。在城市轨道交通中,智能照明控制技术还具有与能源管理系统集成的潜力。通过与能源管理系统的联动,可以实现对照明系统能耗的实时监控和优化。运营人员可以根据系统的数据和报告,及时调整照明策略,实现能源的高效利用和成本的降低^[1]。

3.3 再生制动能量回收系统

城市轨道交通系统中,列车频繁的启动和制动导致大量的能量以热能形式散失。为了充分利用这部分能量,再生制动能量回收系统成为了关键。再生制动能量回收系统,作为一种创新的节能技术,其核心在于将列车制动时产生的能量转化为电能并储存起来。这样,当列车需要加速或爬坡时,这些储存的能量可以被重新利用,为列车提供动力。这样不仅能减少对传统电网的依赖,还可以显著降低电气系统的能耗。在城市轨道交通中,再生制动能量回收系统的实现需要多个组件的协同工作。首先,列车上安装了能量回收装置,如发电机制动器,它能够在列车制动时将机械能转化为电能。接着,这些电能会被储存到车载或车站附近的储能设备中,如超级电容或蓄电池。当列车需要额外的动力时,储能设备会迅速释放能量,为列车提供助力。为了确保再生制动能量的高效利用,能量管理系统发挥着至关重要的作用。它能够实时监控列车的运行状态和能量需求,并根据这些信息智能地分配和管理储能设备中的能量。这样,不仅能确保列车在任何情况下都能获得所需的能量,还可以防止能量的过度消耗和浪费。再生制动能量回收系统的应用,不仅为城市轨道交通带来了显著的节能效果,还提高了能源利用效率。随着技术的进步和系统的完善,相信这一技术将在未来的城市轨道交通中发挥更大的作用,为可持续发展做出重要贡献。

3.4 智能电网与电力监控系统

随着科技的进步,智能电网与电力监控系统在城市轨道交通中扮演着越来越重要的角色。智能电网通过集成先进的通信技术、信息技术和控制技术,使得电力系统更加智能化、自动化。这使得城市轨道交通能够更加高效、可靠地运行,为乘客提供更加优质的服务。电力监控系统是智能电网的重要组成部分,它能够对电气系统的各项参数进行实时监测和分析。通过实时的数据收集和处理,电力监控系统可以及时发现电气系统中的能耗异常问题,并采取相应的措施进行解决。这不仅可以确保电气系统的稳定运行,还能够有效减少能源浪费,提高能源利用效率。在城市轨道交通电气系统中,智能电网与电力监控系统的应用可以带来诸多好处。首先,通过实时监测和分析,可以确保供电设备、牵引供电系统、照明系统等关键设备在最佳状态下运行,从而实现能效的最大化。其次,电力监控系统可以为运营人员提供详细的能耗数据和运行报告,帮助他们更好地了解电气系统的运行状态,制定更加合理的节能措施和管理策略。此外,智能电网还具备预测功能,可以预测电气系统的负荷变化和能源需求,从而提前做好调度和安排,确保电力供应的稳定性和可靠性。

结束语

在城市轨道交通快速发展的当下,电气节能设计不仅是技术进步的体现,更是对环境保护和能源高效利用的深刻实践。通过不断优化设计方案,采用先进节能技术,我们能够显著减少能源消耗,提高系统运行效率,为城市的绿色交通发展贡献力量。展望未来,我们将继续探索和创新,推动城市轨道交通电气节能设计走向更高的水平,为构建智慧、绿色、高效的现代城市交通体系打下坚实基础。

参考文献

- [1]范一丰.城市轨道交通电气节能设计问题探讨[J].中国设备工程,2021(17):119-120.
- [2]李漫.试析城市轨道交通电气节能设计[J].幸福生活指南,2020(41):93-94.
- [3]余军峰.城市轨道交通电气节能设计[J].名城绘,2019(1):290-291.